

## 선내 추진시스템에 대한 전자파 강도기준 연구

최기도<sup>1</sup> · 김종우<sup>2</sup> · 조형래<sup>†</sup>

(Received June 19, 2015 ; Revised July 28, 2015 ; Accepted November 6, 2015)

### A study on the EMF strength standard in propulsion system on ship

Gi-Do Choi<sup>1</sup> · Jong-Woo Kim<sup>2</sup> · Hyung-Rae Cho<sup>†</sup>

**요약:** 최근 선박의 건조는 고속화, 대형화에 따른 전자장비의 탑재 비율이 높아짐에 따라 선박의 사용주파수 대역의 확산이 전 세계적인 추세이다. 이로 인하여 전자소자 및 회로에서의 전자파 상호간의 간섭이 커다란 문제가 되고 있으며, 전자파 환경에서 인체에 대한 전자파 유해도가 주요 이슈상황이 되고 있다. 육상에서의 전자파 환경에 대한 지속적인 투자와 연구가 이루어지는데 반해 선박에서의 전자파 환경에 관한 시험 및 분석은 연구되지 않는 실정이다. 본 논문에서는 선내 추진 시스템에 대한 전자파 강도를 측정 분석 후 국내기준과 해외 기준에 측정 결과를 비교 분석하였다. 그 결과 측정된 결과가 국내 기준에는 만족하였지만 이탈리아 기준과 비교 시 배전반에서 기준치 초과와 다른 장비에서 측정값이 기준치와 근접함을 확인하였다. 따라서 충분한 실험을 통하여 선박의 추진시스템에 대한 전자파 인체보호기준 지정과 정부차원의 인프라 구축이 필요하다.

**주제어:** 전자파 강도, 선박, 추진시스템, 자기장 강도

**Abstract:** Because of the recent rapid advances in the development of ships with a larger proportion of electrical and electronic equipment, The usable frequency spread spectrum on ships is global trend. Therefore, concerns have been raised regarding the possible hazardous health effects of electromagnetic fields radiating from electronic devices. Although studies and investments on electro-magnetic fields in terrestrial areas are being conducted, they are not applied to a ship. In this paper, we measured electromagnetic fields in ship propulsion systems, and we analyzed the measured values against Korean and international standards. While the measured results satisfied the Korean standard, the Italian standard was not met in the switchboard area. However, the measured values were close to meeting the Italian standard. Therefore, further studies should be conducted for performing a comparative analysis of data in order to specify a standard of electromagnetic fields in propulsion systems that can be applied in the construction of government infrastructures.

**Keywords:** EMF strength, Ship, Propulsion system, Magnetic field strength

### 1. 서론

21세기 정보화 사회로의 진입을 위해서는 전자·통신 산업의 발전이 필수적이고, 이는 전자장비의 다양화 및 소형화 그리고 고급화로 이어지며 이를 위한 사용주파수대역의 확장이 전 세계적인 추세이다. 그 결과 기술적인 측면에서의 전자소자 및 회로에서의 전자파 상호간의 간섭이 커다란 문제점으로 대두되고 있으며, 전자파 환경에서 인체에 대한 전자파 유해도가 주요 이슈 상황이 되고 있다.

우리나라를 포함한 각국에서는 이러한 전자파 노출로부터 인체를 보호하기 위해서 전자파 노출에 대한 인체보호 기준을 마련하여 규제를 하고 있다. 각종 전자파 노출원에

대한 인체보호 기준과의 적합성 평가 및 생활환경이나 작업장에서의 전자파 노출 환경의 명확한 평가를 위해서는 노출량에 대한 해석 및 측정 방법에 대한 표준이 필요하다. 따라서 IEC에서는 1999년 10월 전자파의 인체 노출량 평가 표준화 작업을 위해 전문기술위원회인 TC106을 설립하고, 2000년 10월 캐나다 몬트리올에서 첫 번째 총회를 개최한 이후 표준화작업을 활발히 진행하고 있고 IEEE, ITU 등에서 관련 표준화 활동을 수행하고 있다. 우리나라에서도 2000년 12월 정보통신부 전파연구소 산하에 산학연관 전문가들로 구성된 EMF 인체 노출 표준위원회를 발족 시켜 이러한 표준화작업에 발 빠르게 대처하고 있다.

<sup>†</sup> Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7557-4795>): Radio Science and Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 606-791, Korea, E-mail: hrcho@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4421

1 Department of Radio Science and Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: radiol1@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4421

2 Department of Electromagnetic, Korea Marine Equipment Research Institute, E-mail: kim0307@komeri.re.kr, Tel: 051-400-5000

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이와 같이 육상의 전자파 환경에 대한 연구는 지속적인 투자와 연구가 이루어지고 있지만 해상에서 거주 및 근무 환경인 선박의 전자파 환경에 관한 시험 및 분석은 연구되지 않은 실정이다.

선박은 고풍력 안테나 및 증폭기가 내재되어 있는 최상층 전통갑판(Top Side), 무선 설비 및 항해 장비가 내재되어 있는 선교 및 갑판구역(Bridge Deck), 선원들이 주거공간인 선원실(Crew Space)로 이루어져 있다. 또한 선박의 배출 가스 규제가 강화되고 고 효율화에 대한 수요가 증가함에 따라 선박 추진 시스템에 전기추진 시스템이 도입되고 이에 고풍력 모터, 발전기 및 배전반등의 기자재들이 사용되고 있다. 선내 추진 시스템 장비들은 고전압을 발생하고 있으며 위 전자파 노출로부터 선원들의 생활 보호 및 작업환경의 안정성이 절실히 요구되는 실정이다[1-3].

따라서 본 논문은 선내 추진시스템에 대한 전자파 환경을 측정 분석 후 국내기준과 해외 기준에 측정된 결과 값을 비교 분석 하였다.

## 2. 전자파 강도 국내외 기준 및 측정방법

이 장에서는 현재 전파법으로 규정되어 적용하고 있는 국내 전자파 기준 및 측정방법과 국외 4개국의 전자파 강도 기준을 소개하고자 한다.

### 2.1 직업인에 대한 국내 전자파 강도 기준

선박에 상주하고 있는 선원들에 대한 전자파 강도 기준은 일반인에 대한 기준 적용보다 직업인에 대한 기준을 적용하며 전파법 제 47 조의 2 제 1항의 규정에 의한 전자파 인체보호 기준의 자속밀도는 Table 1과 같다[4].

Table 1: Worker for intensity criterion of EMF

Frequency Range	Magnetic Flux Density( $\mu T$ )
1 Hz Under	$2 \times 10^5$
1 Hz Over ~ 8 Hz Under	$2 \times 10^5 / f^2$
8 Hz Over ~ Hz Under	$2.5 \times 10^4 / f$
0.025 kHz Over ~ 0.82 kHz Under	25/f
0.82 kHz Over ~ 65 kHz Under	30.7
0.065 MHz Over ~ 1 MHz Under	2.0/f
1 MHz Over ~ 10 MHz Under	2.0/f
10 MHz Over ~ 400 MHz Under	0.2
400 MHz Over ~ 2,000 MHz Under	$0.01 f^{1/2}$
2 GHz Over ~ 300 GHz Under	0.45

주파수(f)의 단위는 주파수 범위 란에 표시된 단위와 같다. 자속밀도는 실효치로 한다. 자속밀도는 자기장 강도에 자유공간의 투자율 ( $4\pi \times 10^{-7}$ )을 곱한 것이다. 100 kHz 이하의 주파수 대역에서 측정값은 시간평균을 취하지 않으며 최대값으로 한다. 100 kHz 이상 10 GHz 미만의 주파수 대역에서 측정 평균시간은 6분으로 한다[4].

### 2.2 국외 전자파 강도 기준

국가별 전자파 규제 기준(50 Hz, 60 Hz)은 Table 2와 같은 단위는 밀리가우스이다.

Table 2: Four country of Intensity criterion of EMF

Country	Standard
Sweden	0.2 mG(Advice)
Switzerland	1,000 mG
	10 mG (Facilities Limit)
Italy	100 mG (Attention Value)
	30 mG (Quality Target)
Netherlands	4 mG(Advice)

스웨덴은 전자파 기준을 학교, 주택, 병원, 요양시설 등에 0.2 mG로 권고 하고 있으며 이는 어린이 및 전자파 취약 계층을 따로 분류 하여 적용하고 있다.

스위스는 일반인에 대한 노출 한도를 ICNIRP의 기준인 1000 mG를 적용하고 있고 신규로 건축한 건물에 있어(학교, 유치원, 병원, 침실)에 대한 경우에는 시설한계치 10 mG를 적용하고 있다.

이탈리아는 하루 4시간 이상 체류가 예상되는 건물에 따라 주의값 100 mG, 품질목표 30 mG를 적용하고 있다.

네덜란드는 학교 및 송전선로 신설 근처 주거지 등에 4 mG이상 초과 하지 않도록 충분한 이격거리를 둘 것을 권고 하고 있다[5].

### 2.3 측정기기 요건

- (1) 측정기기는 충분한 동작 범위와 주파수 대역을 가져야 하며, 전원선 및 연결 케이블은 적절히 차폐되고 외부 전자기장의 영향을 받지 않아야 한다.
- (2) 측정기기는 저주파수 대역 측정기기는 내장된 전원으로 동작해야 하며, 전원의 재충전이나 교체 없이 8 시간 이상 연속동작 가능해야 한다.
- (3) 측정기기는 전기장과 자기장 성분의 실효값과 첨두값을 측정할 수 있어야 한다.
- (4) 측정기기의 교정 절차에 따라 적절히 교정되어야 하며, 교정 유효기간 이내의 것을 사용하여야 한다. 수신기는 주파수 선택적인 협대역 측정이 가능하여야 한다.

### 2.4 측정 프로브 요건

- (1) 측정 프로브는 저주파수대역의 경우 단축프로브의 단면적은  $0.01 \text{ m}^2$ 보다 작아야 하며 3축 프로브의 최대 크기는 0.2 m 보다 작아야한다.
- (2) 측정 프로브는 고주파수대역 프로브의 크기는 일반적으로 파장의 4분의 1보다 작거나 0.1 m 보다 작아

야한다. 1 MHz 이하의 고주파수대역의 경우 자유공간 조건에서 프로브의 최대 크기는 0.2 m 이하가 되어야 한다.

- (3) 측정 프로브는 편파에 상관없이 측정이 가능한 등방성 프로브이어야 한다.
- (4) 프로브 동작 영역의 최소값은 0.05 V/m 이하, 최대값이 100 V/m 이상이어야 한다.
- (5) 프로브의 등방성 특성은  $\pm 2.5$  dB 이내이어야 한다.
- (6) 프로브의 고정용 지지대는 낮은 유전체 손실 탄젠트 ( $\tan \delta \leq 0.05$ )와 낮은 상대 유전율 ( $\epsilon_r \leq 5.0$ )값을 가져야 한다.

2.5 측정 환경 요건

측정 결과는 온도나 습도 등의 환경적인 조건, 측정을 위한 장비구성, 측정자에 의한 간섭, 전원 선 및 연결 케이블에 의한 전자파유도 등과 같은 외부요인에 의해 영향을 받지 않아야 한다.

2.6 측정 장비

Figure 1은 전자파 강도 측정을 위한 측정 블록도를 보여주고 있다. 측정 장비 및 부대품은 현장에서 측정의 용이성 확보를 위해 휴대형 및 소형으로 구성하였으며 측정된 데이터는 신뢰성 확보를 위해 노트북에 내장된 프로그램을 통해 사용자의 임의적인 조작 없이 전산화된 서버로 전송하도록 구축하였다. 측정 장비는 Table 3과 같이 측정 장비와 측정 안테나로 구성되어 있다. 측정은 측정용 안테나와 케이블의 주파수별 손실값을 측정 프로그램에 내장되어있는 H-Field 분석기를 이용하여 전자파 측정 시 자동으로 보정되도록 설계 하였다.

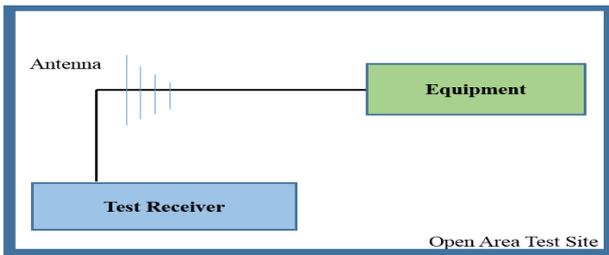


Figure 1: Measurement Method

Table 3: EMF Test Equipments on the ship

Equipment	Maker	Model
EMF TEST Antenna	Narda	-
H-Field Analyzer	Narda	EFA-200,300

2.7 측정 방법

기본 측정의 절차는 다음 각 세목의 순서를 따른다.

- (1) 측정기기의 적합 여부를 파악한다.
- (2) 측정환경을 확인하고 기록한다.
- (3) 측정시작지점을 선정한다. 단, 측정시작지점이 안전

시설 내에 있는 경우 별도로 측정시작지점을 선정하지 않고 안전시설로부터 1 m 떨어진 지점을 측정지점으로 한다.

- (4) 프로브의 높이를 지면으로부터 1.5 m에 위치시킨다.
- (5) 측정기기를 Figure 2에 따라 배치하고, 프로브와 수신기를 1.0 m 이상 이격시킨다.
- (6) 수신기의 측정 주파수와 측정 대역폭은 측정대상 신호의 주파수 및 대역폭과 동일하게 조정한다.
- (7) 검파 모드는 실효값을 측정할 수 있게 조정한다.
- (8) 측정 경로 및 측정간격으로 접근하면서 측정 대상 무선 주파수 범위 내의 전자파 강도를 측정한다.

측정된 결과 중 가장 높은 측정 지점에서 전자파 강도를 6 분간 측정하여 평균값을 산출한다. 단 1 분 이상 6 분 미만으로 6 분간의 평균값을 얻을 수 있는 경우 측정 시간을 단축할 수 있다. 측정된 값 중 최대값을 현 측정 지점에서 측정값으로 한다[4].

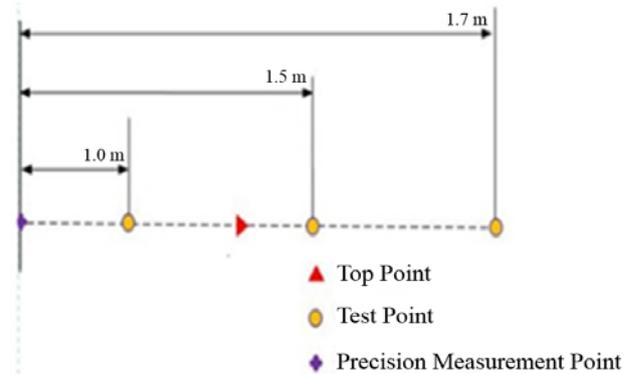


Figure 2 : Measurement Point and Place

3. 실선 측정 및 분석

본 장에서는 측정 대상 (유) 조양운수의 차도선과 한국해양대학교 실습선 한바다호에서 추진체계에 대한 전자파 강도 측정을 시행하였다. 측정은 실제 선원이 작업하는 작업 위치에서 측정하였으며 국내 전자파 강도 측정 고시에 따라 각 높이별 측정결과가 가장 높은 위치에서 측정 하였다. 따라서 본 논문에서는 장비별 측정결과 및 인체 노출량을 평가하고자 한다. Figure 3은 차도선 설계도면에서의 엔진룸 위치를 나타내고 Figure 4는 배전반의 전자파강도 측정 과정을 보여준다.

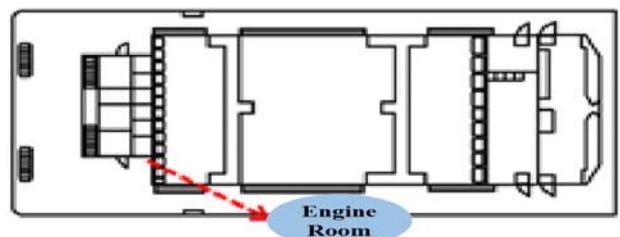


Figure 3: Engine room point in the ship for passenger and cars on the part plan



Figure 4: Measurement process of switch board

### 3.1 차도선 측정결과

Narda EMF Test 장비인 EFA-300에서 측정된 결과값은 실선과 측정값으로 표현하고 있다. 실선은 전체적인 스펙트럼을 보여주고 있으며 측정은 가장 높은 측정지점에서 6 분간 측정하여 최대값(Max)로 하였다. Figure 5, 6 과 7은 차도선에서 측정한 전원 주파수 60 Hz에서의 자기장 강도(A/m)를 보여주고 있다.

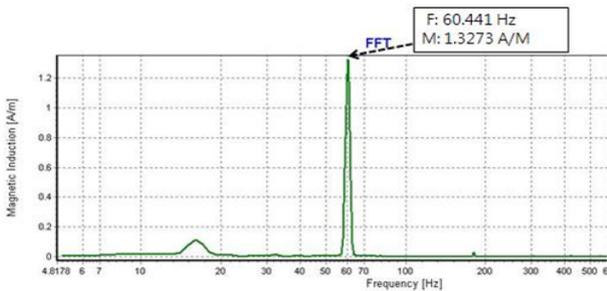


Figure 5: Measurement result on Switch board

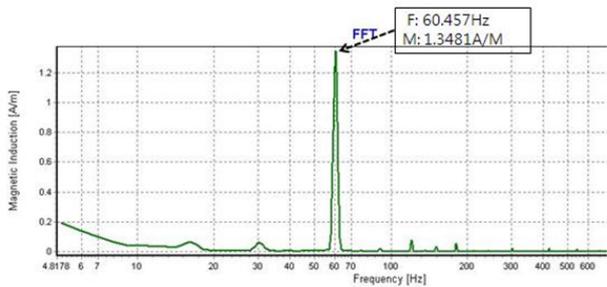


Figure 6: Generator measurement results on the ship for passenger and cars

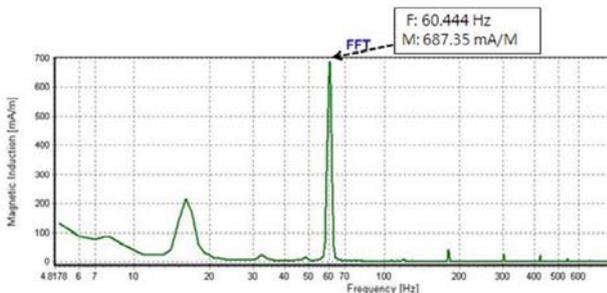


Figure 7: Cable measurement results on the ship for passenger and cars

Figure 5는 차도선에서 배전반을 측정한 결과로서 전원주파수의 영향을 받아 피크지점 60 Hz 대역에서 1.3273 A/m이 측정 되었으며 Figure 6은 발전기에서 Figure 7은 전원케이블에서 각각 1.3481 A/m, 687.35 mA/m으로 측정되었다.

### 3.2 한바다호 측정결과

Figure 8은 측정 대상 한바다호의 엔진룸 설계도면에서 Test Point를 나타내고 Figure 9는 배전반의 전자파강도 측정과정을 보여주고 있다.

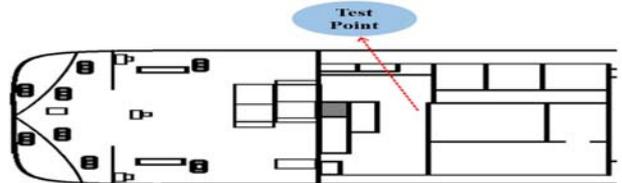


Figure 8: Engine room test point in T.S. HANBADA on the part plan



Figure 9: Measurement process of switch board

한바다호의 측정과정은 차도선의 측정방법과 동일한 과정으로 측정을 하였으며 Figure 10, 11, 과 12은 한바다 호에서 측정한 전원 주파수 60 Hz 대역에서의 자기장 강도(A/m)를 보여주고 있다. 한바다 호의 배전반에서 각 구역에 분배하는 전력량은 700 W이며 차도선의 배전반에서 각 구역에 분배하는 전력량은 400 W이다. 따라서 톤수 차이로 발전기에서 생산되는 전력차이와 배전반에서 각 구역에 분배되는 전력차이로 인해 전자파강도 측정값이 한바다 호가 차도선에서 측정된 측정값(1.32 A/m)에 비하여 약 7.2 배 높은 9.69 A/m로 측정되었다. Figure 11 과 12에서 보는 바와 같이 전원 주파수 영향을 받아 피크지점 60 Hz 대역에서 각각 2.0029 A/m, 334.50 mA/m으로 자기장 강도(A/m)가 측정되었다. 측정값이 차도선에서의 측정 결과 보다 높게 측정되고 있으나 편차는 크지 않다.

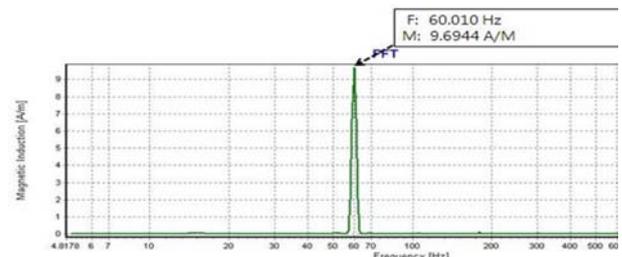


Figure 10: Measurement results on the T.S. HANBADA Switch board

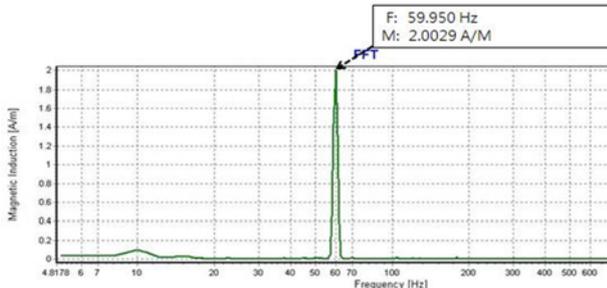


Figure 11: Measurement results on T.S. HANBADA generator

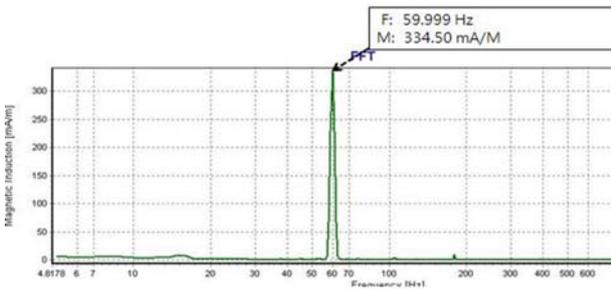


Figure 12: Measurement results on T.S. HANBADA cable

### 3.3 측정값과 국내 기준 분석

Table 4는 한바다호, 차도선에서 측정한 결과를 국내 전자파 강도 기준과 비교 분석하였다. 측정치는 측정된 자기장 강도(A/m)에 자유공간의 투자율 ( $4\pi \times 10^{-7}$ )을 곱한 것이다[6]. 분석결과, 국내 전자파 인체보호 기준대비 낮은 결과를 보이지만, 국내 전자파 인체보호 기준은 단기노출량을 기준이므로 6시간 이상의 체류가 예상되는 선박의 추진 체계에 대한 기준으로는 한계가 있다고 판단된다.

Table 4: Comparisons of measured value with Korean standard

Type	Equipment	Frequency (Hz)	Limit Level (Korea)	Measure Value
			mG	mG
Car Ship	Switchboard	60.441	833	16.59
	generator	60.457	833	16.85
	Cable	60.444	833	8.591
Hanbada Ho	Switchboard	60.010	833	121.1
	generator	59.950	833	25.04
	Cable	59.999	833	4.18

### 3.4 측정값과 국외기준(이탈리아) 분석

Table 5는 한바다 호, 차도선에서 측정한 결과를 이탈리아에서 적용하는 전자파 강도 기준과 비교 분석하였다. 이탈리아의 전자파 강도 기준은 주의값, 품질·목표값으로 분류하고 있으며 각각은 100 mG, 30 mG 값으로 전자파 인체 노출량을 규제하고 있다. 이탈리아 기준은 하루에 4시간 이상 체류하고 있는 사람에 대하여 기준을 적용하고 있으

며 이는 6시간 이상 상주하는 선박의 선원과 밀접하게 연관되어 있다. 분석결과, 주의값에 대한 비교 결과는 한국해양대학교 실습선 한바다 호의 배전반에서 기준치를 초과하고 있다. 품질·목표 역시 배전반에서 기준치를 초과하고 다른 장비에서는 초과하지 않았으나, 품질·목표 제한치(30 mG)와 근접함을 보여주고 있다.

Table 5: Comparisons of measured value with Italian standard

Type	Equipment	Frequency (Hz)	Limit Level (Italy)		Measure Value
			Attention Value (mG)	Quality Goal (mG)	
Car Ship	Switchboard	60.441	100	30	16.591
	generator	60.457	100	30	16.851
	Cable	60.444	100	30	8.591
Hanbada ho	Switchboard	60.010	100	30	121.18
	generator	59.950	100	30	25.036
	Cable	59.999	100	30	4.181

## 4. 결 론

본 논문은 선내 추진시스템에 대한 전자파 강도를 측정 분석 후 국내기준과 해외 기준에 측정한 결과 값을 비교 분석 하였다. 측정 결과 툰수가 차도선 보다 큰 한바다 호에서 배전반에서 사용하는 전력 차이에 의해 7.2배 정도 높게 측정되었다. 측정된 결과는 국내 전자파강도기준에는 만족하고 있지만 시간을 고려한 이탈리아의 기준과 비교하였을 때 측정치가 기준치를 초과하는 자기장 강도를 확인 할 수 있었다.

한바다 호의 기관실에서 각 구역에 전원을 분배하는 배전반이 기관실 선원들의 업무 환경에 위치하고 있는 점으로 보아 선박의 건조 시 전자파에 대한 영향이 충분히 고려되지 않음을 알 수 있었다.

따라서 선박의 툰수 및 용도로 분류하여 선박의 추진시스템에 대한 충분한 측정과 연구를 통하여 추진시스템대한 보다 정확한 측정치가 필요로 하며 한바다 호 등의 대형 선박에 대한 전자파 차폐 필터 및 전원 주파수에 대한 전파 흡수체 개발 등의 연구를 통해 배전반에서의 충분한 차폐가 이루어져야 할 것이다.

또한 선박 건조 시 충분한 전자파 영향을 고려하여 국내외 기준을 초과하는 전자 장비와 선원들의 작업공간의 충분한 거리확보가 이루어져야 할 것이다.

따라서 충분한 실험을 통하여 정부차원에서 선박의 추진시스템에 대한 전자파 장기노출에 대한 인체보호 기준 지정과 선원들의 전자파 인체노출에 대한 교육이 필요하다는 것을 시사하는 바이다.

## 후 기

이 논문은 2014년도 한국해양대학교 교내 연구비 지원에 의해 연구되었음.

### References

- [1] J. W. Kim, "Marine Electrical and Electronic Equipment for Optimum EMI Measurement Study", M.S. Dissertation, Yeongnam University, Gyeongsan, 2012 (in Korean).
- [2] J. S. Park, G. D. Choi, J. W. Kim, and H. R. Cho, "A study on the EMI in special power distribution zone on ship," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 38, no. 6 pp. 730-736, 2014 (in Korean).
- [3] H. B. Kim, W. G. Kim, Y. S. Lee, and W. P. Jun, "Exposure Level Analysis of EMF Strength on Human around Base Station," Journal of the Korean Institute Of Electromagnetic Engineering And Science, vol. 24, no. 5 pp. 525-533, 2013 (in Korean).
- [4] Radio Research Agency, EMF Standard and Measure Method, Korea, No.2012-21, 2012 (in Korean).
- [5] Radio Research Agency, Electromagnetic Management Agency and Regulations in Nation, Korea, 2013 (in Korean).
- [6] T. W. Hwang, M.H. Lee and N, Kim "A Study on The Proposal for Human Protection Regulation of EME," Proceedings of Korea institute of Communications and information sciences Summer Conference, pp. 1029-1030, 2013 (in Korean).